

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-141552

(P2002-141552A)

(43) 公開日 平成14年5月17日 (2002.5.17)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	キーワード* (参考)
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 5 F 0 4 1
21/205		21/205	5 F 0 4 5
31/10		H 0 1 S 5/343	5 F 0 4 9
H 0 1 S 5/343		H 0 1 L 31/10	A 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2000-333479 (P2000-333479)

(22) 出願日 平成12年10月31日 (2000. 10. 31)

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72) 発明者 岩田 浩和

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

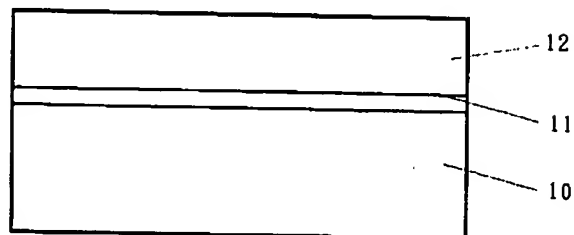
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3族窒化物半導体、半導体基板、該半導体を用いたレーザおよび半導体装置

(57) 【要約】

【課題】 性能特性、信頼性、生産性、利用性等の各特性を高めた3族窒化物半導体および半導体装置を得る。

【解決手段】 本p型3族窒化物半導体は、サファイア基板10上に、低温Ga<sub>0.99</sub>N<sub>0.01</sub>バッファ層11、p型Ga<sub>0.99</sub>N<sub>0.01</sub>層12の順で積層されたものである。このp型Ga<sub>0.99</sub>N<sub>0.01</sub>層12は、Inが3族元素不純物として、0.1%含まれている。また、p型ドーパントとして、Mgが $6 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 含まれている。Ga<sub>0.99</sub>N<sub>0.01</sub>層12は、キャリア濃度は $8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ で低抵抗のp型を示した。なお、Inを含まない場合は、キャリア濃度は $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ であった。少なくともp型不純物が一元素以上ドーピングされた、Ga、Al、In、Bのいずれか一元素以上と窒素の化合物からなるp型3族窒化物半導体は、その構成元素以外のGa、Al、In、Bから選ばれる3族元素を一元素以上、不純物として微量に含み、従来の3族元素不純物を含まない3族窒化物半導体よりもキャリア濃度が増加した電気的特性の優れた低抵抗の半導体である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型不純物が一元素以上ドーピングされた、Ga、Al、In、Bのいずれか一元素以上と窒素の化合物からなるn型3族窒化物半導体において、前記n型3族窒化物半導体は、該n型3族窒化物半導体の構成元素以外のGa、Al、In、Bから選ばれる3族元素を、一元素以上、不純物として微量に含むことを特徴とするn型3族窒化物半導体。

【請求項2】 少なくともp型不純物が一元素以上ドーピングされた、Ga、Al、In、Bのいずれか一元素以上と窒素の化合物とからなるp型3族窒化物半導体において、

前記p型3族窒化物半導体は、その構成元素以外のGa、Al、In、Bから選ばれる3族元素を、一元素以上、不純物として微量に含むことを特徴とするp型3族窒化物半導体。

【請求項3】 前記p型不純物のうち少なくとも一元素は、Mgであることを特徴とする請求項2記載のp型3族窒化物半導体。

【請求項4】 請求項1から3の何れかに記載の3族窒化物半導体を用いたことを特徴とする3族窒化物半導体単結晶基板。

【請求項5】 請求項1から3の何れかに記載の3族窒化物半導体、あるいは請求項4に記載の3族窒化物半導体単結晶基板を用いたことを特徴とする半導体装置。

【請求項6】 前記半導体装置は、受光素子であることを特徴とする請求項5に記載の半導体装置。

【請求項7】 前記半導体装置は、半導体レーザであることを特徴とする請求項5に記載の半導体装置。

【請求項8】 前記半導体レーザにおいて、半導体レーザ積層構造を結晶成長する基板は、p型伝導を有する請求項4記載の3族窒化物半導体単結晶基板であり、

前記半導体レーザを構成する3族窒化物積層構造は、p型、n型の半導体層を含み、少なくともp型半導体の一層は、請求項2あるいは請求項3記載のp型3族窒化物半導体であり、

前記積層構造が形成された反対側の基板面にp側電極が形成され、積層構造上にn側電極が形成されていることを特徴とする請求項7に記載の半導体レーザ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、3族窒化物半導体、半導体基板、該半導体を用いたレーザおよび半導体装置に関し、例えば、半導体発光素子、半導体電子デバイス、半導体受光素子として構成される3族窒化物半導体、半導体基板、該半導体を用いたレーザおよび半導体装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、3(III)族窒化物半導体および

半導体装置は一般に、DVDやCD等の光ピックアップ用光源、電子写真用の書き込み光源、光通信光源、紫外線センサー、高温動作トランジスタ等へ適用される。

【0003】従来の青色のLEDは、赤色や緑色に比べて輝度が小さく実用化に難点があった。しかし近年、一般式InAlGa<sub>x</sub>Nで表される3族窒化物半導体において、低温AlNバッファ層、あるいは低温Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>バッファ層を用いた結晶成長技術の向上と、水素パシベーションによって高抵抗化したp型層を熱処理によって低抵抗化する技術が見出され、高輝度青色LEDが実用化された。

【0004】その後、更なる結晶性の向上と、p型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>の低抵抗化の研究が進み種々の提案がなされ、低出力(数mW)ではあるが、室温近傍で連続発振する紫色半導体レーザが実用化された。

【0005】従来技術例1の特開平6-232451号には、In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>(1-x-y)</sub>N、(0<x<1, 0≤y<1)で表される3族窒化物層を成長させた後に、Mgを1×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>~3×10<sup>20</sup>cm<sup>-3</sup>の範囲でドーピングしてp型3族窒化物半導体を作製する方法が開示されている。

【0006】この方法は、In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>(1-x-y)</sub>N、(0<x<1, 0≤y<1)層を緩衝層として用いることによって、その上に成長するp型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層の歪みを緩和して、結晶性の悪化を防ぐことで、p型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>を作製するものである。Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>にMgを3×10<sup>20</sup>cm<sup>-3</sup>ドーピングして、5×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>のキャリア濃度のp型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>を作製している。

【0007】また、従来技術例2の特開平10-101496号公報には、MgとSiを2:1、あるいはMgとOを2:1、あるいはBeとSiを2:1、あるいはBeとOを2:1の比率でGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>に10<sup>19</sup>cm<sup>-3</sup>~10<sup>20</sup>cm<sup>-3</sup>に同時ドーピングして、高キャリア濃度のp型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>を作製する方法が開示されている。

【0008】図11は、従来技術例3の特開平11-4048号公報に開示された半導体レーザである。窒化物半導体基板40は、サファイア基板上にGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>を成長した後に、Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>表面に、SiO<sub>2</sub>でストライプ状のマスクパターンを形成し、露出したGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>表面にSiをドーピングしたGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>を選択成長させ、さらにマスク上をラテラル成長させ、厚いGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層を形成したものから、サファイア基板、選択成長マスクを研磨して除去し、SiドーパGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層のみとして作製している。

【0009】この基板は、Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>上に選択成長した領域は結晶性が悪いが、SiO<sub>2</sub>マスク上をラテラル成長した領域の結晶品質は良く、ストライプ状の結晶性の良い領域と悪い領域が交互に形成されている。

【0010】このGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>基板40の上にレーザ構造となる窒化物半導体層を成長させている。レーザの積層構造は、n型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>より成る第2のバッファ層41、n型In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nより成るクラック防止層42、n型

Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N/GaN超格子より成るn側クラッド層43、n型GaNより成るn側光ガイド層44、In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N/In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N多重量子井戸構造の活性層45、p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nより成るp側キャップ層46、p型GaNからなるp側光ガイド層47、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N/GaN超格子より成るp側クラッド層48、p型GaNからなるp側コンタクト層49を順次積層して形成されている。そして、p側コンタクト層49、p側クラッド層48の一部をドライエッチングして、幅4μmのリッジストライプを形成する。リッジストライプを形成する位置は、選択成長マスクがあった直上の結晶部分である。

【0011】この位置あわせは、サファイア基板と選択成長マスクが除去されているため、窒化物半導体素子の積層構造の成長前に起点となる目印をGaN基板側に入れて行っている。リッジストライプ上にはNi/Auより成るp側電極が形成され、n型GaN基板裏面には、Ti/Alより成るn側電極が形成されている。レーザ共振器端面はn型GaN基板のM面をへき開することで形成されている。

【0012】p型AlGaNのキャリア濃度が低く、抵抗が高いことから、この例では、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N/GaN超格子を使用してp型クラッド層のキャリア濃度を実効的に増加させている。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述したように、低抵抗のp型3族窒化物半導体を作製することが難しいため、3族窒化物半導体を使用した、高輝度青色発光ダイオード、低出力（数mW）の紫色半導体レーザが実用化され、その後の精力的な研究開発にもかかわらず、高出力動作する実用的なレーザや、紫外波長領域での実用的な受光素子は実現されていない。

【0014】例えば、半導体レーザの場合には、未だp型クラッド層やp型コンタクト層の抵抗が高いために、動作電圧の増加や、大電流動作時の発熱を招き、高出力動作するものが実用化されていない。また、紫外領域の受光素子の場合には、p型AlGaN層のAl組成比が大きくなるに従い、高抵抗化するため、紫外波長領域での受光素子は実用化されていない。

【0015】従来技術による低抵抗のp型GaNを作製する方法については、特開平6-232451号公報に開示されている。本開示内容は、In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>(1-x-y)</sub>N、(0<x<1, 0≤y<1)で表される3族窒化物層を成長させた後、Mgを1×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>～1×10<sup>20</sup>cm<sup>-3</sup>の範囲でドーピングしてp型GaNを作製する方法であり、直上の結晶層の歪みが緩和されp型特性を示すが、多層構造を形成する場合には、層厚が厚くなるに従いその効果が薄れてしまう。そのため、デバイス設計の自由度が少ない。

【0016】また、特開平10-101496号公報に開示されている、MgとSiを2:1、あるいはMgと

Oを2:1、あるいはBeとSiを2:1、あるいはBeとOを2:1の比率でGaNに10<sup>19</sup>cm<sup>-3</sup>～10<sup>20</sup>cm<sup>-3</sup>に同時ドーピングして、高キャリア濃度のp型GaNを作製する方法では、ドーピング量を増やすに従い、表面モフォロジーが悪くなる。このため、半導体レーザのような平坦な導波路構造を必要とするデバイスを作製することには、難があった。

【0017】特開平11-4048号公報に開示された半導体レーザでは、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N/GaN超格子を使用してp型クラッド層のキャリア濃度を実効的に増加させているが、超格子構造を作製するための結晶成長プロセスと装置が必要となる。このことから、結晶成長に要する時間と装置コストがかかり、半導体レーザが高価なものとなる。

【0018】また、p型GaNのキャリア濃度が≤10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>と十分高くないので、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N/GaN超格子の実行キャリア濃度も高出力半導体レーザを実用化するには、十分とはいえない。

【0019】また、n型3族窒化物半導体においても、バンドギャップが大きくなるに従い、キャリア濃度が少なくなり、抵抗が増加する。その結果、オーミック電極の形成等が難しくなる。例えば、Al組成比の大きなn型AlGaNにオーミック電極を形成することが困難であるので、従来のサファイア等の基板に形成された半導体レーザや受光素子ではn型GaNをコンタクト層として結晶成長し、その上にAlGaN層を形成している。

【0020】本発明は、性能特性、信頼性、生産性、利用性等の各特性を高めた3族窒化物半導体および半導体装置を提供することを目的とする。なお、発明毎の目的は下記となる。

【0021】請求項1記載の発明は、従来のn型3族窒化物半導体よりも電気的特性のよいn型3族窒化物半導体を提供することを目的とする。

【0022】請求項2または3記載の発明は、従来のn型3族窒化物半導体よりも電気的特性のよいp型3族窒化物半導体を提供することを目的とする。

【0023】請求項4記載の発明は、従来の3族窒化物半導体基板よりも電気的特性の優れた単結晶3族窒化物半導体基板を提供することを目的とする。

【0024】請求項5記載の発明は、従来の3族窒化物半導体を使用した半導体装置よりも、電気的特性が優れた、信頼性が高い、3族窒化物半導体装置を提供することを目的とする。

【0025】請求項6記載の発明は、従来の3族窒化物半導体を使用した受光素子よりも波長範囲（紫外領域）の広い受光素子を提供することを目的とする。

【0026】請求項7記載の発明は、従来の3族窒化物半導体を使用した半導体レーザよりも、動作電圧の低い、高出力、長寿命、高信頼性の半導体レーザを提供することを目的とする。

【0027】請求項8記載の発明は、従来の3族窒化物半導体を使用した半導体レーザよりも、動作電圧の低い、高出力、長寿命、高信頼性の半導体レーザを低コストで提供することを目的とする。

【0028】

【課題を解決するための手段】かかる目的を達成するため、請求項1に記載の発明は、n型不純物が一元素以上ドーピングされた、Ga、Al、In、Bのいずれか一元素以上と窒素の化合物からなるn型3族窒化物半導体において、n型3族窒化物半導体は、該n型3族窒化物半導体の構成元素以外のGa、Al、In、Bから選ばれる3族元素を、一元素以上、不純物として微量に含むことを特徴としている。

【0029】請求項2記載のp型3族窒化物半導体は、少なくともp型不純物が一元素以上ドーピングされた、Ga、Al、In、Bのいずれか一元素以上と窒素の化合物とからなるp型3族窒化物半導体において、p型3族窒化物半導体は、その構成元素以外のGa、Al、In、Bから選ばれる3族元素を、一元素以上、不純物として微量に含むことを特徴とする。

【0030】請求項3記載の発明のp型3族窒化物半導体は、請求項2記載のp型3族窒化物半導体において、p型不純物のうち少なくとも一元素はMgであることを特徴とする。

【0031】請求項4記載の発明の3族窒化物半導体単結晶基板は、請求項1から3の何れかに記載の3族窒化物半導体を用いたことを特徴とする。

【0032】請求項5記載の発明の半導体装置は、請求項1から3の何れかに記載の3族窒化物半導体、あるいは請求項4に記載の3族窒化物半導体単結晶基板を用いたことを特徴とする。

【0033】請求項6記載の発明は、請求項5に記載の半導体装置を用いた受光素子であることを特徴とする。

【0034】請求項7記載の発明は、請求項5に記載の半導体装置を用いた半導体レーザであることを特徴とする。

【0035】請求項8記載の発明は、請求項7に記載の半導体レーザにおいて、半導体レーザ積層構造を結晶成長する基板は、p型伝導を有する請求項4記載の3族窒化物半導体単結晶基板で有り、半導体レーザを構成する3族窒化物積層構造は、p型、n型の半導体層を含み、少なくともp型半導体の一層は、請求項2あるいは請求項3記載のp型3族窒化物半導体であり、積層構造が形成された反対側の基板面にp側電極が形成され、積層構造上にn側電極が形成されていることを特徴とする。

【0036】

【発明の実施の形態】次に添付図面を参照して本発明による3族窒化物半導体および半導体装置の実施の形態を詳細に説明する。図1から図10を参照すると本発明の3族窒化物半導体および半導体装置の一実施形態が示さ

れている。

【0037】(第1の発明の構成・動作)請求項1の3族窒化物半導体は、n型不純物が一元素以上ドーピングされた、Ga、Al、In、Bのいずれか一元素以上と窒素の化合物からなるn型3族窒化物半導体において、n型3族窒化物半導体は、その構成元素以外のGa、Al、In、Bから選ばれる3族元素を一元素以上、不純物として微量に含むことを特徴とするn型3族窒化物半導体である。

10 【0038】一般的に、n型3族窒化物半導体を作製する場合には、n型不純物を適量ドーピングすることで、そのキャリア濃度を制御して作製している。従来この方法で、GaNの場合には、キャリア濃度は $10^{20}\text{cm}^{-3}$ 程度までのものが作製できている。しかしながら、AlGaN等のワイドギャップ半導体になると、バンドギャップが大きくなるに連れて、キャリア濃度は低下し、高抵抗化する。また、GaNの場合にもキャリア濃度が $10^{19}\text{cm}^{-3}$ を超えると表面モフォロジーが悪くなり、デバイスに使用することが困難になっていた。

20 【0039】本発明人は、n型3族窒化物半導体を結晶成長する際に、n型不純物と同時に3族窒化物の構成元素以外の3族元素を不純物として微量にドーピングしたところ、キャリア濃度が増加し、電気的特性が向上することを見出し、本発明をするに至った。

【0040】不純物としての3族元素は、3族窒化物半導体を構成する元素以外のGa、Al、In、Bから選ばれる3族元素である。例えば、3族窒化物半導体がGaNの場合は、B、Al、Inの中から、少なくとも1元素以上が選ばれる。AlGaNの場合は、3族元素不純物としては、B、Inの中から、少なくとも一元素以上が選ばれる。

【0041】また、3族窒化物半導体の電気伝導型を制御するためにドーピングしているn型不純物はその種類、量は特に限定はしない。例えば、Si、Ge、O等が使用可能であるが、特に限定するものではなく、結晶成長の条件と、3族窒化物半導体の使用目的に応じて適宜選択することができる。

【0042】また、本発明では、3族窒化物半導体は、単結晶、多結晶、その形態を特に限定するものではなく、3族窒化物半導体の使用目的に応じて適宜選択することができる。

【0043】また、その作製方法に関しても、特に限定するものではなく、MOCVD、MBE、VPE、昇華法、フラックス法、超高圧雰囲気での融液成長等が使用可能である。

【0044】(第2の発明の構成・動作)請求項2のp型3族窒化物半導体は、少なくともp型不純物が一元素以上ドーピングされた、Ga、Al、In、Bのいずれか一元素以上と窒素の化合物からなるp型3族窒化物半導体において、p型3族窒化物半導体は、その構成元素

以外のGa、Al、In、Bから選ばれる3族元素を一元素以上、不純物として微量に含むことを特徴とするp型3族窒化物半導体である。

【0045】一般的に、p型3族窒化物半導体を作製する場合には、p型不純物を適量ドーピングすることで、そのキャリア濃度を制御して作製している。

【0046】しかしながら、p型不純物の活性化率は1%以下と低いため、p型不純物を $10^{20}\text{cm}^{-3}$ 程度までドーピングしても、p型GaNで、キャリア濃度は $\leq 10^{18}\text{cm}^{-3}$ と低いものしか作製できていない。

【0047】さらに、AlGaN等のワイドギャップ半導体になると、キャリア濃度はさらに低下し、高抵抗化してしまう。

【0048】また、p型不純物のドーピング量が $10^{20}\text{cm}^{-3}$ を超えると表面モフォロジーが悪くなり、逆に高抵抗化してしまう。

【0049】従って、従来、高キャリア濃度のp型3族窒化物半導体を作製することは困難であった。本発明人は、p型3族窒化物半導体を結晶成長する際に、p型不純物と同時に3族窒化物の構成元素以外の3族元素を不純物として微量にドーピングしたところ、キャリア濃度が増加し、低抵抗化することを見出し、本発明をするに至った。

【0050】不純物としての3族元素は、3族窒化物半導体を構成する元素以外のGa、Al、In、Bから選ばれる3族元素である。例えば、3族窒化物半導体がGaNの場合は、B、Al、Inの中から、少なくとも1元素以上が選ばれる。AlGaNの場合は、3族元素不純物としては、B、Inの中から、少なくとも1元素以上が選ばれる。

【0051】また、3族窒化物半導体の電気伝導型を制御するためにドーピングしているp型不純物はその種類、量は特に限定はしない。また、3族窒化物半導体がp型特性を示せばp型不純物の他にn型不純物を同時に含んでいてもよい。例えば、p型不純物としては、Be、Mg、Zn、C等が使用可能であるが、これらの元素と同時に、SiやO等のn型不純物を含んでいても良く、結晶成長の条件と、3族窒化物半導体の使用目的に応じて適宜選択することができる。

【0052】また、本発明では、3族窒化物半導体は、単結晶、多結晶、その形態を特に限定するものではなく、3族窒化物半導体の使用目的に応じて適宜選択することができる。

【0053】また、その作製方法に関しても、特に限定するものではなく、MOCVD、MBE、VPE、昇華法、フラックス法、超高圧雰囲気での融液成長等が使用可能である。

【0054】(第3の発明の構成・動作) 請求項3のp型3族窒化物半導体は、請求項2記載のp型3族窒化物半導体において、p型不純物のうち少なくとも一元素は

Mgであることを特徴とするp型3族窒化物半導体である。

【0055】<実施例1>請求項2および請求項3の発明の一実施例を説明する。図1は、本実施例の3族窒化物半導体の断面図である。本実施例の3族窒化物半導体は、p型3族窒化物半導体である。サファイア基板10上に、低温GaNバッファ層11、p型GaN層12の順で積層されたものである。

【0056】p型GaN層12は、In(インジウム)が3族元素不純物として、0.1%含まれている。また、p型ドーパントとして、Mgが $6 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 含まれている。p型GaN層12は、キャリア濃度は $8 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ で低抵抗のp型を示した。なお、Inを含まない場合は、キャリア濃度は $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ であった。

【0057】<実施例2>請求項1から3の発明の一実施例を説明する。図2は、本実施例の3族窒化物半導体の断面図である。本実施例の3族窒化物半導体は、石英基板20上に、低温GaNバッファ層21、多結晶n型GaN層22、多結晶p型GaN層23の順で積層されたものである。多結晶n型GaN層22、多結晶p型GaN層23は、In(インジウム)が3族元素不純物として、0.1%含まれている。また、n型ドーパントとして、Siが $2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、p型ドーパントとして、Mgが $6 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 含まれている。

【0058】この積層構造は、ダイオード特性を示し、n側、p側の電極を形成することで、発光素子として使用することができる。なお、Inを含まない場合は、p型層が高抵抗となり、MIS型に近い特性のものしか得られなかった。

【0059】<実施例3>請求項2および3の発明の一実施例を説明する。図3は、本実施例の3族窒化物半導体の断面図である。本実施例のp型3族窒化物半導体は、サファイア基板30上に、低温GaNバッファ層31、p型GaN層32の順で積層されたものである。p型GaN層32は、In(インジウム)が3族元素不純物として、0.1%含まれている。また、p型ドーパントとして、Mgが $1 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 、n型ドーパントとしてSiが $5 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 同時ドーピングされている。

【0060】MgとSiの同時ドーピングとInドーピングの効果によって、キャリア濃度は、 $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ と高く、低抵抗のp型を示した。なお、Inを含まない場合は、表面モフォロジーが悪くなり、高抵抗であった。

【0061】(第4の発明の構成・動作) 請求項4の3族窒化物半導体単結晶基板は、請求項1から3の何れかに記載の3族窒化物半導体からなる3族窒化物半導体単結晶基板である。本発明の3族窒化物半導体単結晶基板は、高品質の3族窒化物半導体を結晶成長することができる導電性を有する基板である。その電気伝導型はn型あるいはp型であり、用途によって適宜選ぶことができる。

【0062】＜実施例4＞本請求項4の発明の一実施例を説明する。図4は、本実施例の3族窒化物半導体単結晶基板の断面図である。本実施例の3族窒化物半導体単結晶基板は、3族元素不純物としてInを0.1%、p型不純物としてMgを $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 含む単結晶GaN基板60である。

【0063】本実施例のGaN基板は、キャリア濃度が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の低抵抗p型である。本実施例のGaN基板は3族原料として金属Ga、3族元素不純物として金属In、p型ドーパントとして金属Mg、窒素原料として窒素ガスを使用し、金属Naをフラックスとして用いたフラックス法によって結晶成長を行った。

【0064】（請求項5の発明の構成・動作）請求項5の半導体装置は、請求項1から3のいずれかに記載の3族窒化物半導体、あるいは請求項4記載の3族窒化物半導体単結晶基板を含む半導体装置である。半導体装置は、3族窒化物半導体の特性を用いて、機能するものであれば、発光素子、受光素子、電子デバイス等その形態は限定するものではない。

【0065】＜実施例5＞本発明の請求項5の半導体装置の一実施例を説明する。本実施例の半導体装置は、請求項4記載の3族窒化物半導体単結晶基板上に、請求項1および3記載の3族窒化物半導体を積層した積層構造を用いて作製した端面発光型発光ダイオードである。

【0066】図5は、端面発光型発光ダイオードの光出射端面に垂直な面での断面図である。発光ダイオードは概ね直方体の形状をしており、発光ダイオードの一側面が光出射端面となっている。発光ダイオードの積層構造は、n型GaN基板70上に、n型AlGaN低温バッファ層71、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N高温バッファ層72、n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層73、n型GaN活性層74、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層75、p型GaNキャップ層76を順次積層して形成されている。

【0067】n型GaN基板70、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N高温バッファ層72、n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層73、n型GaN活性層74、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層75、p型GaNキャップ層76にはそれぞれ0.1%のInが不純物として含まれている。

【0068】発光ダイオードのp型GaNキャップ層76上には、Ni/Auからなるp側オーミック電極77が形成されている。また、基板裏面の積層構造が形成されていない側に、Ti/Alからなるn側オーミック電極78が形成されている。発光ダイオードの側面は基板に対して概ね垂直に形成されている。

【0069】そして、発光ダイオードのp側、n側オーミック電極に順方向のバイアスをかけると、発光ダイオードの一側面である光出射端面700から光が外部に放射される。

【0070】以下、作製方法を説明する。発光ダイオードの積層構造はMOCVDで結晶成長して作製した。まず、n型GaN基板70を反応管にセットし、アンモニアガス中、1120℃で加熱し、基板表面をクリーニングした。次いで、温度を600℃に下げ、雰囲気をNH<sub>3</sub>と窒素と水素を混合ガス雰囲気にし、TMAとTMGおよびn型ドーパントガスであるSiH<sub>4</sub>ガスを流し、n型低温AlGaNバッファ層71を堆積した。次いで、温度を1050℃に上げ、水素をキャリアガスとして、TMG、TMA、3族元素不純物と原料としてTMIを、n型不純物ガスとしてSiH<sub>4</sub>を組成にあわせて供給し、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N高温バッファ層72を1μm、n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層73を0.5μm、n型GaN活性層74を0.05μm順次積層した。

【0071】次いで、n型不純物原料の代わりに、p型不純物原料としてEtCp<sub>2</sub>Mgを組成にあわせて供給し、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層75を0.5μm、p型GaNキャップ層76を0.2μm順次積層した。次いでp側オーミック電極材料であるNi/Auを積層構造上面に蒸着した。その後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型GaNキャップ層に透明p側オーミック電極77を形成した。次いで、GaN基板裏面を研磨し、約10μmの厚さにした。次いで、n側オーミック電極材料であるTi/Alを蒸着した。

【0072】窒素雰囲気中で450℃で熱処理し、n側オーミック電極78を形成した。次いで、基板をへき開して、出射端面700の形成とチップ分離を行った。この発光ダイオードに電流を注入して発光させると、発光のピーク波長は、約365nmであった。

【0073】（請求項6の発明の構成・動作）請求項6の半導体装置は、請求項5の半導体装置において、半導体装置は受光素子であることを特徴とする半導体装置である。受光素子はその形態を特に限定するものではなく、受光部に光が入射することによって、光電流が発生するものであれば良い。

【0074】＜実施例6＞本発明の請求項6の受光素子の一実施例を説明する。本実施例の受光素子はフォトダイオードである。図6は、本実施例のフォトダイオードの断面図である。本実施例のフォトダイオードは請求項4記載の3族窒化物半導体単結晶基板上に、請求項1および3記載の3族窒化物半導体を積層した積層構造を用いて作製したフォトダイオードである。

【0075】本実施例のフォトダイオードは、n型GaN基板80上に、n型GaN層81、p型GaN層82、p型GaNコンタクト層83を順次積層した積層構造を、n型GaN層81が露出するまでエッチングして形成された直径150μmのメサ構造を成す。n型GaN基板80、n型GaN層81、p型GaN層82、p型GaNコンタクト層83には、3族元素不純物として



Inが0.1%ドーピングされている。

【0076】また、メサ構造の上部にはリング状のp側オーミック電極85が、また、n型Ga<sub>0.99</sub>N基板80裏面層にはn側オーミック電極86が形成されている。オーミック電極が形成されている部分以外の領域には、SiO<sub>2</sub>絶縁保護膜84が形成されている。また、メサ側面とn型Ga<sub>0.99</sub>N層81上のSiO<sub>2</sub>絶縁保護膜84上には、p側オーミック電極85から引き出され形成された配線電極87が形成されている。

【0077】メサ構造上部のリング状のp側オーミック電極85で囲まれた部分が受光面となる。このフォトダイオードに逆バイアスを印加し、受光面に光を照射すると光の強度に対応した光電流が流れる。

【0078】以下、本実施例のフォトダイオードの作製方法を説明する。まず、n型Ga<sub>0.99</sub>N基板80を反応管にセットし、アンモニアガス中、1120℃で加熱し、基板表面をクリーニングした。次いで、温度を1050℃に下げ、水素をキャリアガスとしてTMGと3族元素不純物原料であるTMIとn型不純物ガスSiH<sub>4</sub>を加えて、n型Ga<sub>0.99</sub>N層81を3μmを積層した。次いで、SiH<sub>4</sub>の供給を止め、EtCp<sub>2</sub>Mgを供給し、p型Ga<sub>0.99</sub>N層82を1μm、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層83を0.2μm順次積層した。

【0079】次に、直径150μmの円パターンをレジストで形成した。このレジストパターンをマスクとして、ドライエッチングを行い、高さ約2μmのメサ形状を形成するとともに、n型Ga<sub>0.99</sub>N層81を露出させた。

【0080】レジストマスクを除去した後、ウエハーをプラズマCVD装置にセットし、表面にSiO<sub>2</sub>絶縁膜84を約0.5μm堆積した。次いで、p側オーミック電極を形成した。

【0081】p側オーミック電極形成の工程は次の通りである。まず、メサの上部にレジストでリング状のメサパターンを形成した後、SiO<sub>2</sub>絶縁膜84をリング状にエッチングで抜き、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層83を露出させる。次いでp側オーミック電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、ウエハーを有機溶剤に浸し、レジストを溶かしてレジスト上に蒸着された電極材をリフトオフして、メサ上部にp側オーミック電極パターンを形成した。その後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層にp側オーミック電極85を形成した。

【0082】次いで、基板裏面を研磨して、厚さを約100μmにした後、基板裏面に、n側オーミック電極材料であるTi/Alを蒸着した。その後、窒素雰囲気中、450℃で熱処理し、n側オーミック電極86を形成した。そして、ダイシングを行い、フォトダイオードをチップに分離した。

【0083】(請求項7の発明の構成・動作)請求項7の半導体装置は、請求項5の半導体装置において、半導

体装置は半導体レーザであることを特徴とする半導体装置である。半導体レーザの構造は特に限定するものではなく、活性層にキャリアが注入され、レーザー光が外部に取り出されるものであればよく、端面型、面型どちらの構造であっても良い。

【0084】<実施例7>本発明の請求項7の半導体レーザの一実施例を説明する。本実施例の半導体レーザは、請求項4記載の3族窒化物半導体単結晶基板上に、請求項1および3記載の3族窒化物半導体を積層した積層構造を用いて作製した半導体レーザである。

【0085】図7は、本実施例の半導体レーザの斜視図である。図8は、本実施例の半導体レーザの光射出方向に垂直な面での断面図である。半導体レーザの積層構造9000は、n型Ga<sub>0.99</sub>N基板90上に、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N高温バッファ層91、n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層92、n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層93、n型Ga<sub>0.99</sub>Nガイド層94、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/I<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N多重量子井戸活性層95、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層96、p型Ga<sub>0.99</sub>Nガイド層97、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層98、p型Ga<sub>0.99</sub>Nキャップ層99を順次積層して形成されている。

【0086】そして、n型Ga<sub>0.99</sub>N基板90、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N高温バッファ層91、n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層92、n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層93、n型Ga<sub>0.99</sub>Nガイド層94、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層96、p型Ga<sub>0.99</sub>Nガイド層97、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層98、p型Ga<sub>0.99</sub>Nキャップ層99には、3族元素不純物としてInが0.1%含まれている。

【0087】また、p型Ga<sub>0.99</sub>Nキャップ層99表面からp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層98の途中までエッチングされ、電流狭窄リッジ構造900が形成されている。電流狭窄リッジ構造900最表面のp型Ga<sub>0.99</sub>Nキャップ層99上に、Ni/Auからなるp側オーミック電極101が形成されている。

【0088】また、p側電極形成部以外は、絶縁保護膜100として、SiO<sub>2</sub>が堆積されている。そして、積層構造9000と電流狭窄リッジ構造900と概ね垂直に光共振器端面901、902が形成されている。Ga<sub>0.99</sub>N基板90裏面にはTi/Alからなるn側オーミック電極102が形成されている。

【0089】以下、本実施例の半導体レーザの作製方法を説明する。半導体レーザの積層構造の結晶成長はMOCVDで行った。まず、n型Ga<sub>0.99</sub>N基板90を反応管にセットし、水素ガス中、1120℃で加熱し、基板表面をクリーニングした。次いで、温度を600℃に下げ、雰囲気中をNH<sub>3</sub>と窒素と水素を混合ガス雰囲気にし、TMAとTMGおよびn型ドーパントガスであるSiH<sub>4</sub>ガスを流し、n型低温Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nバッファ層91を堆積した。

【0090】次いで、温度を1050℃に上げ、水素をキャ

リアガスとしてTMG、TMA、3族元素不純物と原料としてTMIを、n型不純物ガスとしてSiH<sub>4</sub>を組成にあわせて供給し、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N高温バッファ層92を1μm、n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層93を0.5μm、n型GaNガイド層94を0.1μm順次積層した。

【0091】次いで、水素ガスの供給を止め、雰囲気をNH<sub>3</sub>と窒素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に下げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMIを供給し、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/In<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N多重量子井戸活性層95(2ペア)を成長した。

【0092】次いで、雰囲気をNH<sub>3</sub>と窒素と水素を混合ガス雰囲気にし、温度を1050℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、3族元素不純物原料のTMI、p型不純物原料のEtCp<sub>2</sub>Mgを組成にあわせて供給し、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層96を20nm、p型GaNガイド層97を0.1μm、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層98を0.5μm、p型GaNキャップ層99を0.2μm順次積層した。

【0093】次いで、レジストで幅4μmのストライプパターンを繰り返しピッチ300μmで形成した。このレジストパターンをマスクとして、約0.7μmの深さをドライエッチングして、リッジ900を形成した。レジストマスクを除去した後、絶縁保護膜100となるSiO<sub>2</sub>を積層構造の表面に約0.5μm堆積した。次いで、p側オーミック電極101を形成した。

【0094】p側オーミック電極形成の工程は次の通りである。まず、リッジ900上部に、レジストでヌキストライプパターンを形成した後、SiO<sub>2</sub>をエッチングしてリッジ上のp型GaNキャップ層99を露出させる。次いでレジストを除去しウエハー表面に、p側オーミック電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型GaNキャップ層99にp側オーミック電極101を形成した。次いで、基板裏面を研磨し、厚さを約100μmにした後、n側オーミック電極材料であるTi/Alを蒸着した。その後、窒素雰囲気中、450℃で熱処理し、n側オーミック電極102を形成した。次いで、半導体レーザ構造が形成されたウエハーをリッジ900に概ね垂直になるようにへき開し、光共振器端面901、902を形成した。

【0095】この半導体レーザの電極に順方向に電流を注入すると発光し、さらに電流を増加させるとレーザ発振した。発振波長は約409nmであった。

【0096】(請求項8の発明の構成・動作)請求項8の半導体レーザは、請求項7の半導体レーザにおいて、半導体レーザ積層構造を結晶成長する基板は、p型伝導を有する請求項4記載の3族窒化物半導体単結晶基板で有り、半導体レーザを構成する3族窒化物積層構造は、p型、n型の半導体層を含み、少なくともp型半導体の

一層は、請求項2あるいは、請求項3記載のp型3族窒化物半導体であり、積層構造が形成された反対側の基板面にp側電極が形成され、積層構造上にn側電極が形成されていることを特徴とする半導体レーザである。

【0097】半導体レーザの構造は特に限定するものではなく、活性層にキャリアが注入され、レーザ光が外部に取り出されるものであればよく、端面型、面型どちらの構造であっても良い。

【0098】<実施例8>本発明の請求項8の半導体レーザの一実施例を説明する。本実施例の半導体レーザは、請求項4記載の3族窒化物半導体単結晶基板上に、請求項1および請求項3記載の3族窒化物半導体を積層した積層構造を用いて作製した半導体レーザである。図9は本実施例の半導体レーザの斜視図である。

【0099】図10は、本実施例の半導体レーザの光射出方向に垂直な面での断面図である。半導体レーザの積層構造は、p型GaN基板110上に、高温p型GaNバッファ層111、p型In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド防止層112、p型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N層113、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層114、p型GaNガイド層115、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層116、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/In<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N多重量子井戸活性層117、n型GaNガイド層118、n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層119、n型GaNキャップ層120を順次積層して形成されている。

【0100】そして、p型GaN基板110、高温p型GaNバッファ層111、p型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N層113、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層114、p型GaNガイド層115、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層116、n型GaNガイド層118、n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層119、n型GaNキャップ層120には、3族元素不純物としてInが0.1%含まれている。

【0101】また、n型GaNキャップ層120表面からn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層119の途中までエッチングされ、電流狭窄リッジ構造1000が形成されている。リッジ1000最表面のn型GaNキャップ層120上に、Ti/Alからなるn側オーミック電極122が形成されている。また、n側電極形成部以外は絶縁保護膜121として、SiO<sub>2</sub>が堆積されている。そして、積層構造1100と電流狭窄リッジ構造1000と概ね垂直に光共振器端面1001、1002が形成されている。

【0102】p型GaN基板110裏面にはNi/Auからなるp側オーミック電極123が形成されている。以下、本実施例の半導体レーザの作製方法を説明する。半導体レーザの積層構造の結晶成長はMOCVDで行った。

【0103】まず、p型GaN基板110を反応管にセットし、水素ガス中、1120℃で加熱し、基板表面をクリ



ーニングした。次いで、温度を1050℃に下げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、3族元素不純物と原料としてTMIを、p型不純物ガスとしてEtCp<sub>2</sub>Mgを組成にあわせて供給し、高温p型Ga<sub>0.99</sub>Nバッファ層111を1μm、p型In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラック防止層112を0.1μm、p型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N層113を1μm、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層114を0.5μm、p型Ga<sub>0.99</sub>Nガイド層115を0.1μm、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層116を20nm順次積層した。

【0104】次いで、水素ガスの供給を止め、雰囲気をNH<sub>3</sub>と窒素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に下げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMIを供給し、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/In<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N多重量子井戸活性層117(2ペア)を成長した。次いで、雰囲気をNH<sub>3</sub>と窒素と水素を混合ガス雰囲気にし、温度を1050℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、3族元素不純物原料のTMI、n型不純物原料のSiH<sub>4</sub>を組成にあわせて供給し、n型Ga<sub>0.99</sub>Nガイド層118を0.1μm、n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層119を0.5μm、n型Ga<sub>0.99</sub>Nキャップ層120を0.2μm順次積層した。

【0105】次いで、ウエハー表面に、レジストで幅4μmのストライプパターンを繰り返しピッチ300μmで形成した。このレジストパターンをマスクとして、約0.7μmの深さをドライエッチングして、リッジ1000を形成した。レジストマスクを除去した後、絶縁保護膜121となるSiO<sub>2</sub>を積層構造の表面に約0.5μm堆積した。次いで、n側オーミック電極122を形成した。

【0106】n側オーミック電極形成の工程は次の通りである。まず、リッジ1000上部に、レジストでヌキストライプパターンを形成した後、SiO<sub>2</sub>をエッチングしてリッジ上のn型Ga<sub>0.99</sub>Nキャップ層120を露出させる。次いでレジストを除去しウエハー表面に、n側オーミック電極材料であるTi/Alを蒸着した。その後、窒素雰囲気中、450℃で熱処理し、n型Ga<sub>0.99</sub>Nキャップ層120にn側オーミック電極122を形成した。

【0107】次いで、基板裏面を研磨し、厚さを約100μmにした後、p側オーミック電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、窒素雰囲気中600℃で熱処理し、p側オーミック電極123を形成した。次いで、半導体レーザ構造が形成されたウエハーをリッジ1000に概ね垂直になるようにへき開し、光共振器端面1001、1002を形成した。この半導体レーザの電極に順方向に電流を注入すると発光し、さらに電流を増加させるとレーザ発振した。発振波長は約409nmであった。

【0108】

【発明の効果】以上の説明より明らかなように、各請求

項に記載の発明の3族窒化物半導体および半導体装置は、下記のそれぞれの効果を奏している。

(1) 請求項1に対応する作用効果

請求項1のn型3族窒化物半導体においては、n型不純物が一元素以上ドーピングされた、Ga、Al、In、Bのいずれか一元素以上と窒素の化合物からなるn型3族窒化物半導体において、n型3族窒化物半導体は、その構成元素以外のGa、Al、In、Bから選ばれる3族元素を一元素以上、不純物として微量に含むことを特徴とするn型3族窒化物半導体であるので、3族元素不純物を含まない場合に比べてn型3族窒化物のキャリア濃度が上がり、また、キャリアの移動度が大きい電気的特性の優れたn型3族窒化物半導体である。

【0109】(2) 請求項2に対応する作用効果

請求項2のp型3族窒化物半導体においては、少なくともp型不純物が一元素以上ドーピングされた、Ga、Al、In、Bのいずれか一元素以上と窒素の化合物からなるp型3族窒化物半導体において、p型3族窒化物半導体は、その構成元素以外のGa、Al、In、Bから選ばれる3族元素を一元素以上、不純物として微量に含むことを特徴とするp型3族窒化物半導体であるので、従来の3族元素不純物を含まない3族窒化物半導体よりもキャリア濃度が増加した電気的特性の優れた、従来よりも低抵抗のp型窒化物半導体である。

【0110】(3) 請求項3に対応する作用効果

請求項3のp型3族窒化物半導体においては、請求項2記載のp型3族窒化物半導体において、p型不純物のうち少なくとも一元素はMgであることを特徴とするp型3族窒化物半導体であるので、室温においても低抵抗のp型3族窒化物半導体が作製できる。以下、詳しく説明する。

【0111】Mgの不純物レベルはZn等の他の不純物レベルよりも低く、他の不純物に比べて活性化率が高く、より低抵抗のp型3族窒化物を得やすい。例えば、Ga<sub>0.99</sub>N中のMgの不純物レベルは、Ga<sub>0.99</sub>Nの価電子帯の上、約200meVと他の2(II)族元素のp型不純物の中では最も低く、室温においても活性化率を従って、室温においても低抵抗のp型3族窒化物半導体を作製できる。

【0112】(4) 請求項4に対する作用効果

請求項4の3族窒化物半導体単結晶基板においては、3族窒化物半導体単結晶基板において、3族窒化物半導体は、請求項1から3のいずれかに記載の3族窒化物半導体である3族窒化物半導体単結晶基板であるので、電気的特性の良い3族窒化物基板である。また、p型基板は、従来は作製困難であった低抵抗のp型基板である。

【0113】(5) 請求項5に対応する作用効果

請求項5の半導体装置においては、請求項1から4のいずれかに記載の3族窒化物半導体、あるいは3族窒化物半導体単結晶基板を含む半導体装置であるため、半導体

装置を構成する3族窒化物半導体の電気的特性が優れている。そのため、動作電圧が低く、発熱しにくい等、従来よりも装置特性が向上しており信頼性が高い。

【0114】(6)請求項6に対応する作用効果  
請求項6の半導体装置においては、請求項1から4のいずれかに記載の3族窒化物半導体、あるいは3族窒化物半導体単結晶基板を含む受光素子であるので、受光素子を構成する3族窒化物半導体の電気的特性が優れており、従来より電気特性が向上している。特に、低抵抗のワイドギャップのp型3族窒化物半導体を使用できるので、従来よりも、より短い波長領域(紫外領域)で動作する受光素子となる。

【0115】(7)請求項7に対応する作用効果  
請求項7の半導体装置においては、請求項1から4のいずれかに記載の3族窒化物半導体、あるいは3族窒化物半導体単結晶基板を含む半導体レーザであるため、半導体装置を構成する3族窒化物半導体の電気的特性が優れている。そのため、動作電圧が低く、大電流を流しても発熱しにくく、高出力、長寿命、高信頼性の半導体レーザとなる。

【0116】(8)請求項8に対応する作用効果  
請求項8の半導体レーザにおいては、請求項7記載の半導体レーザにおいて、半導体レーザ積層構造を結晶成長する基板は、p型伝導を有する請求項4記載の3族窒化物半導体単結晶基板で有り、半導体レーザを構成する3族窒化物積層構造は、p型、n型の半導体層を含み、少なくともp型半導体の一層は、請求項2あるいは、請求項3記載のp型3族窒化物半導体であり、積層構造が形成された反対側の基板面にp側電極が形成され、積層構造上にn側電極が形成されていることを特徴とする半導体レーザである。この結果、p型層の上に、n型層が結晶成長されているので、p型層を高抵抗化する水素パシベーションの原因となる、結晶成長後の高温雰囲気ガスからのp型結晶中への水素の拡散侵入を、n型層が阻害するので、as grownでp型層は低抵抗になっており、従来必要とされていたp型化のための熱処理工程を減らすことができる。従って、抵抗コストの半導体レーザとなる。

【0117】また、基板が低抵抗のp型特性を有し、電極が基板裏面と半導体レーザ表面側に形成されているので、発光部をヒートシンクに接着することができる。その結果、放熱特性に優れ、高出力動作時の発熱による劣化が回避されるので、従来は、作製が困難であった高出力・長寿命の半導体レーザ特性を有することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の3族窒化物半導体の実施形態を示す断面図である。

【図2】実施例2の3族窒化物半導体の断面図である。

【図3】実施例3の3族窒化物半導体の断面図である。

【図4】実施例4の3族窒化物半導体単結晶基板の断面

図である。

【図5】実施例5の端面発光型発光ダイオードの光出射端面に垂直な面での断面図である。

【図6】実施例6フォトダイオードの断面図である。

【図7】実施例7の半導体レーザの斜視図である。

【図8】実施例7の半導体レーザの光出射方向に垂直な面での断面図である。

【図9】実施例8の半導体レーザの斜視図である。

【図10】実施例8の半導体レーザの光出射方向に垂直な面での断面図である。

【図11】従来例の半導体レーザの光出射方向に垂直な面での断面図である。

【符号の説明】

- 10、30 サファイア基板
- 11、21、31 低温Ga<sub>0.9</sub>Nバッファ層
- 12、32、82 p型Ga<sub>0.9</sub>N層
- 20 石英基板
- 22 多結晶n型Ga<sub>0.9</sub>N層
- 23 多結晶p型Ga<sub>0.9</sub>N層
- 20 40 Ga<sub>0.9</sub>N基板
- 41 n型Ga<sub>0.9</sub>Nより成る第2のバッファ層
- 42 n型In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド防止層
- 43 n型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N/Ga<sub>0.9</sub>N超格子より成るクラッド層
- 44、94、118 n型Ga<sub>0.9</sub>Nガイド層
- 45 In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N/In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N多重量子井戸構造の活性層
- 46 p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nキャップ層
- 47、97、115 p型Ga<sub>0.9</sub>Nガイド層
- 30 48 p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N/Ga<sub>0.9</sub>N超格子クラッド層
- 49、83 p型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層
- 60 単結晶Ga<sub>0.9</sub>N基板
- 70、80、90 n型Ga<sub>0.9</sub>N基板
- 71 n型AlGa<sub>0.9</sub>N低温バッファ層
- 72、92 n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N高温バッファ層
- 73、93、119 n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 74 Ga<sub>0.9</sub>N活性層
- 40 75、98、114 p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 76、99 p型Ga<sub>0.9</sub>Nキャップ層
- 77、85、123 p側オーミック電極
- 78、86、102、122 n側オーミック電極
- 81 n型Ga<sub>0.9</sub>N層
- 84、100、121 絶縁保護膜
- 87 配線電極
- 91 n型AlGa<sub>0.9</sub>N低温バッファ層
- 95、117 In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/In<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N多重量子井戸活性層
- 50

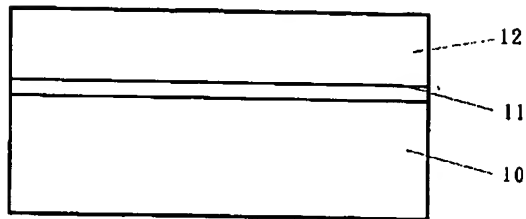
19

96、116 p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層  
 101 p側オーミック電極  
 110 p型Ga $\text{N}$ 基板  
 111 高温p型Ga $\text{N}$ バッファ層  
 112 p型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラック防止層  
 113 p型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 層

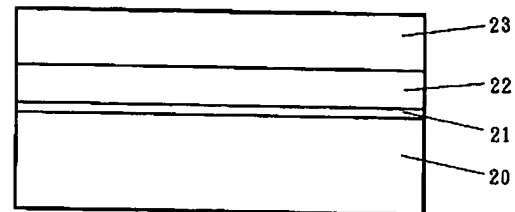
20

120 n型Ga $\text{N}$ キャップ層  
 700、901、902、1001、1002 光共振器端面  
 900、1000 電流狭窄リッジ構造  
 1100、9000 半導体レーザの積層構造

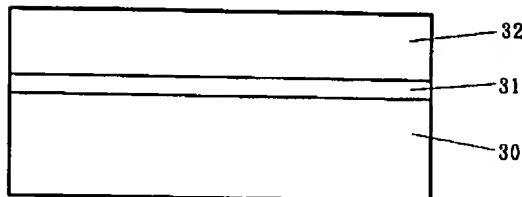
【図1】



【図2】



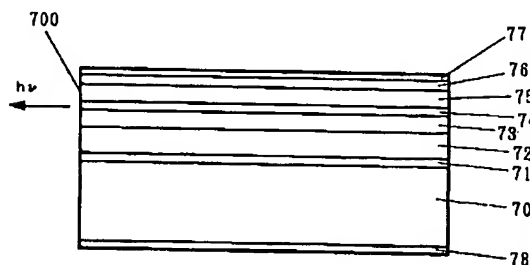
【図3】



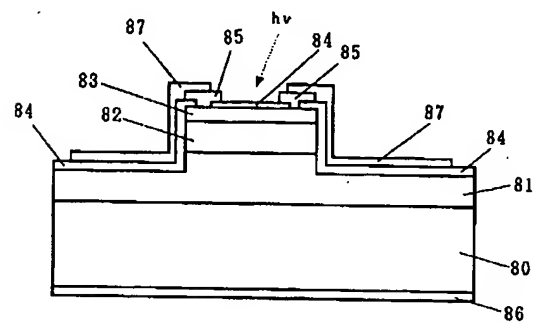
【図4】



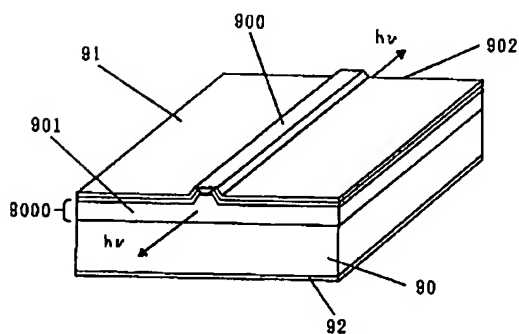
【図5】



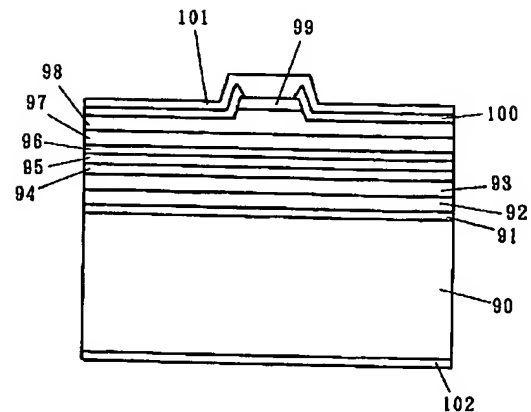
【図6】



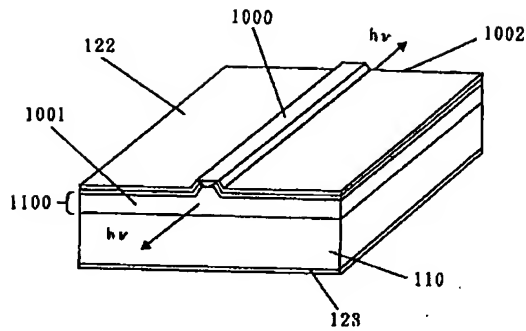
【図7】



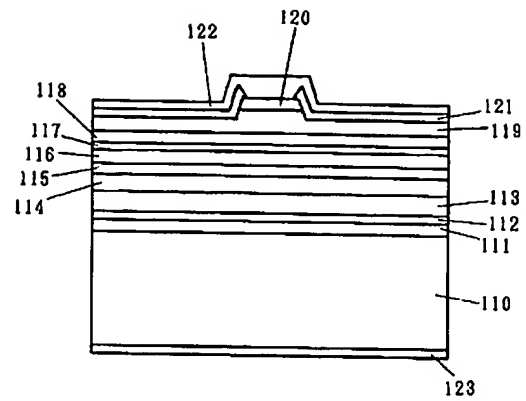
【図8】



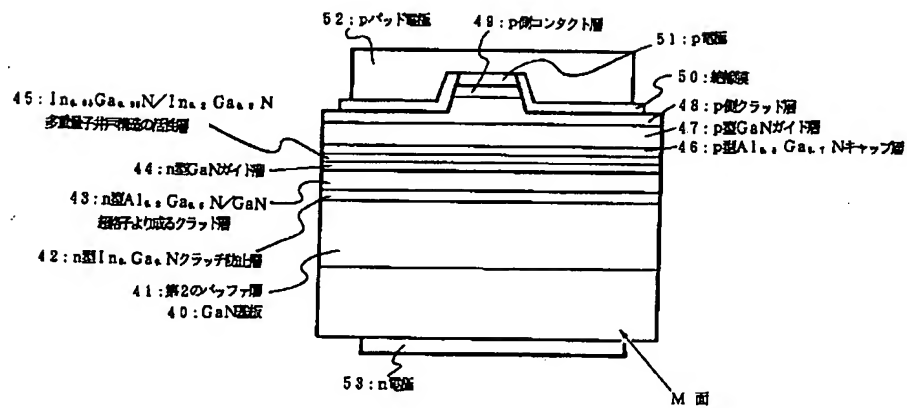
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F041 AA24 CA04 CA05 CA34 CA40  
CA46 CA57 CA65  
5F045 AA04 AB09 AB14 AC07 AC12  
AC19 AF09 BB16 CA12 DA57  
5F049 MA03 MB07 NA10 PA04 QA02  
WA05  
5F073 AA11 AA13 AA45 AA51 AA61  
AA74 CA07 CB02 CB05 CB07  
CB19 CB22 EA29

**PAT-NO:** JP02002141552A

**DOCUMENT-  
IDENTIFIER:** JP 2002141552 A

**TITLE:** GROUP III NITRIDE SEMICONDUCTOR, SEMICONDUCTOR  
SUBSTRATE LASER USING SEMICONDUCTOR AND SEMICONDUCTOR  
DEVICE

**PUBN-DATE:** May 17, 2002

**INVENTOR-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
IWATA, HIROKAZU	N/A

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
RICOH CO LTD	N/A

**APPL-NO:** JP2000333479

**APPL-DATE:** October 31, 2000

**INT-CL (IPC):** H01L033/00 , H01L021/205 , H01L031/10 , H01S005/343

**ABSTRACT:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a group III nitride semiconductor enhancing characteristics such as performance characteristics, reliability, productivity, availability and the like and a semiconductor device.

SOLUTION: A p-type group III nitride semiconductor comprises a low-temperature GaN buffer layer 11 and a p-type GaN layer 12 sequentially laminated on a sapphire board 10. This layer 12 contains In as the group III element impurity of 0.1%. As a p-type dopant, Mg of  $6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  is contained. The layer 12 exhibits a p-type of low resistance of carrier concentration of  $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . If the In is not contained, the carrier concentration is  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . At least as the p-type impurity, one or more elements are doped. The p-type group III nitride semiconductor made of a compound of any or more of Ga, Al, In

and B and the nitrogen contains, except the constituting element, one or more group III elements selected from Ga, Al, In and B and a fine amount of the impurity and is a semiconductor of low resistance having excellent electric characteristics for increasing the carrier concentration as compared with the conventional group III nitride semiconductor containing no group III element impurity.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO